

Techniques de modélisation transactionnelle pour le dimensionnement des futurs systèmes de radiocommunication mobiles

Soutenance de Thèse de Doctorat

Anthony BARRETEAU

10 janvier 2011

École polytechnique de l'Université de Nantes

Directeur de thèse : Jean-Paul Calvez puis Jean-François DIOURIS
Encadrant : Sébastien LE NOURS

Techniques de modélisation transactionnelle pour le dimensionnement des futurs systèmes de radiocommunication mobiles

☐ Contexte applicatif

- La conception des futurs systèmes de radiocommunication mobiles

☐ Systèmes de radiocommunication mobiles



- Équipements portables permettant d'accéder à un ensemble d'applications multimédia via une communication sans fil

☐ Difficulté



- Dimensionnement des ressources électroniques requises en tenant compte des contraintes fortes en termes de coût, de consommation et d'embarquabilité

☐ Contribution



- Techniques de modélisation visant à faciliter le processus de dimensionnement de ces systèmes

Plan

1. Dimensionnement des futurs systèmes de radiocommunication mobiles: évolutions et challenges
2. Contributions pour la définition de techniques de modélisation en vue du dimensionnement de systèmes
3. Études de cas sur des exemples de systèmes de radiocommunication mobiles
4. Conclusion et perspectives

Plan

1. Dimensionnement des futurs systèmes de radiocommunication mobiles: évolutions et challenges
 - Travail de dimensionnement d'un système embarqué
 - Évolutions des besoins applicatifs et des architectures associées
 - Problématiques dans le cadre du dimensionnement de ces systèmes
 - Positionnement de nos travaux
2. Contributions pour la définition de techniques de modélisation en vue du dimensionnement de systèmes
3. Études de cas sur des exemples de systèmes de radiocommunication mobiles
4. Conclusion et perspectives

Travail de dimensionnement d'un système embarqué

❑ Enjeu

- Définir l'architecture d'un système satisfaisant les contraintes fonctionnelles et non fonctionnelles à respecter

❑ Architecture d'un système

- Organisation découlant du déploiement des applications sur les ressources utilisées pour réaliser un système

❑ Contraintes fonctionnelles

- Applications à mettre en œuvre
- Contraintes de temps à satisfaire

❑ Contraintes non fonctionnelles

- Contraintes dimensionnantes vis-à-vis des caractéristiques des ressources utilisées
 - Ressources de calcul: nombre de processeurs, capacité de traitement,...
 - Ressources de mémorisation: organisation, capacité de mémorisation, ...
 - Ressources de communication: topologie, bande passante, ...

Évolution des besoins applicatifs

□ Évolution des besoins des utilisateurs

- Accès à une grande variété d'applications multimédia
- Respect des exigences en terme de qualité de service

⇒ **Accroissement du nombre d'applications à intégrer**



□ Évolution des infrastructures des réseaux sans fil

- Réseaux d'accès radio hétérogènes
- Performances des liens radio hétérogènes

⇒ **Accroissement du nombre de technologies d'accès radio à intégrer**



□ Gestion transparente pour l'utilisateur du choix du réseau d'accès radio utilisé

- Gestion autonome de l'interface radio par le système

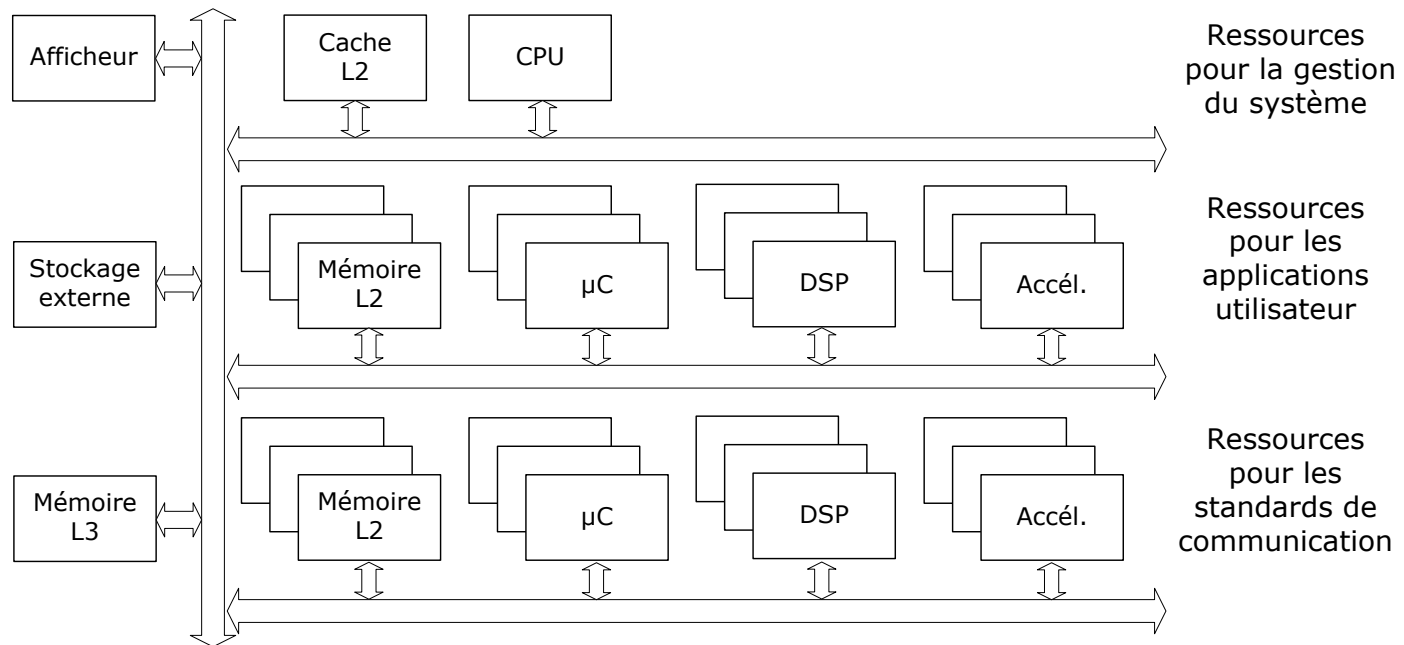
⇒ **Nouveaux services à intégrer pour gérer cette mobilité**

Évolution des architectures matérielles

⇒ **Accroissement de la complexité des architectures à dimensionner**

Années	1995	2000	2005	2010	2015
Standards de communication	GSM	GPRS, EDGE	HSPA	LTE	LTE-Advanced
Puissances de calcul requises (GOPS)	0,1	1	10	100	1000

⇒ **Augmentation du nombre de ressources programmables et reconfigurables au sein d'architectures multiprocesseurs hétérogènes**

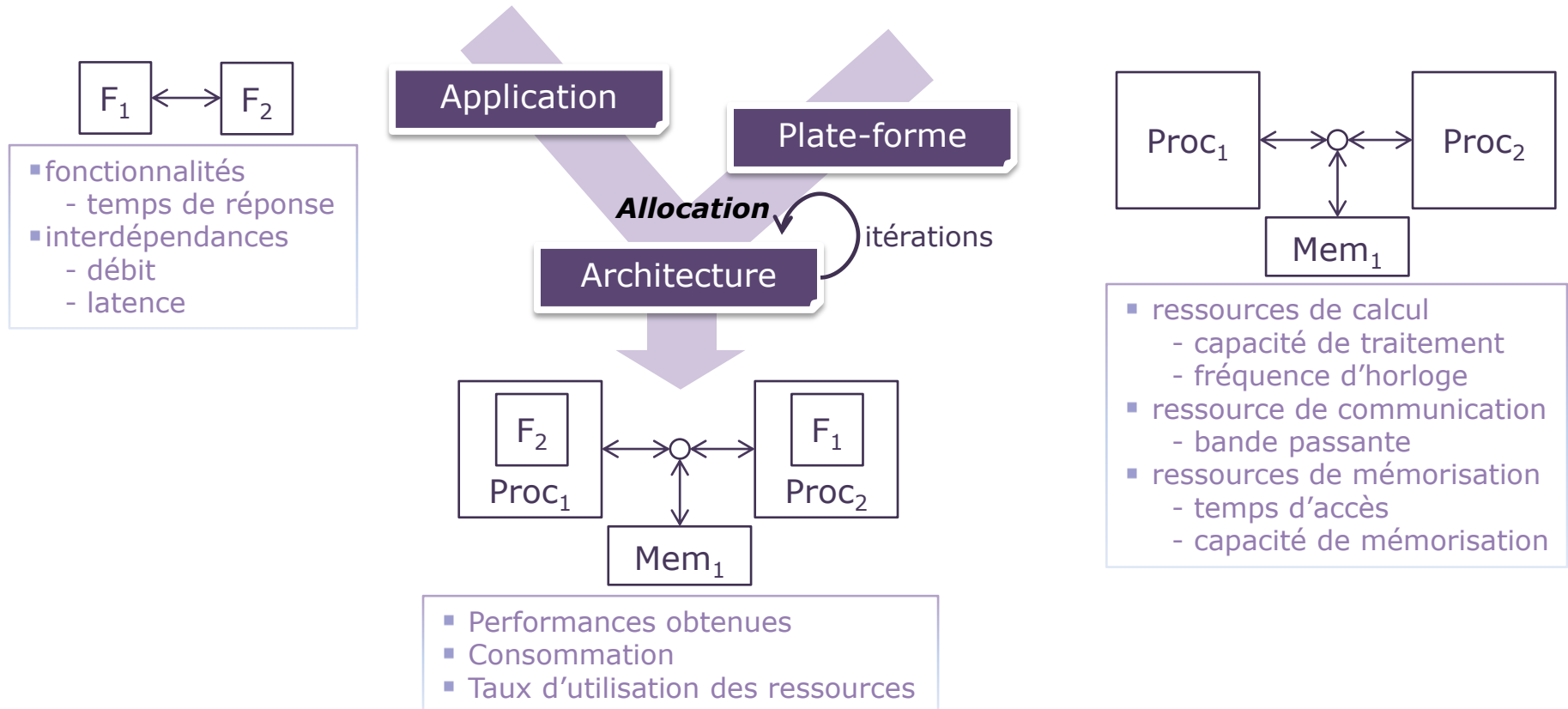


Problématiques liées au dimensionnement des futurs systèmes de radiocommunication mobiles

- ⇒ **Augmentation de la complexité des systèmes à dimensionner**
- ⇒ **Diminution du temps alloué pour définir une solution architecturale**
- Comment aider les concepteurs à dimensionner ces systèmes?
 - Définition de modèles de représentation des systèmes
- Besoins
 - **Approche** correctement formalisée pour la création de modèles
 - Ensemble d'étapes pour guider le concepteur
 - **Modèles** nécessitant des temps de simulation les plus courts possibles
 - Possibilité d'évaluer et de comparer rapidement différentes solutions architecturales
 - **Langages et techniques de modélisation**
 - Faciliter la description et l'analyse des spécificités de ces systèmes en vue de leur dimensionnement

Approches pour le dimensionnement de systèmes embarqués

Organisation des activités de modélisation



Problématiques

- Proposition de modèles permettant de capturer les propriétés d'une architecture
- Analyse à un niveau de représentation permettant d'offrir un bon compromis précision des résultats/temps de simulation

Modèles pour le dimensionnement de systèmes embarqués

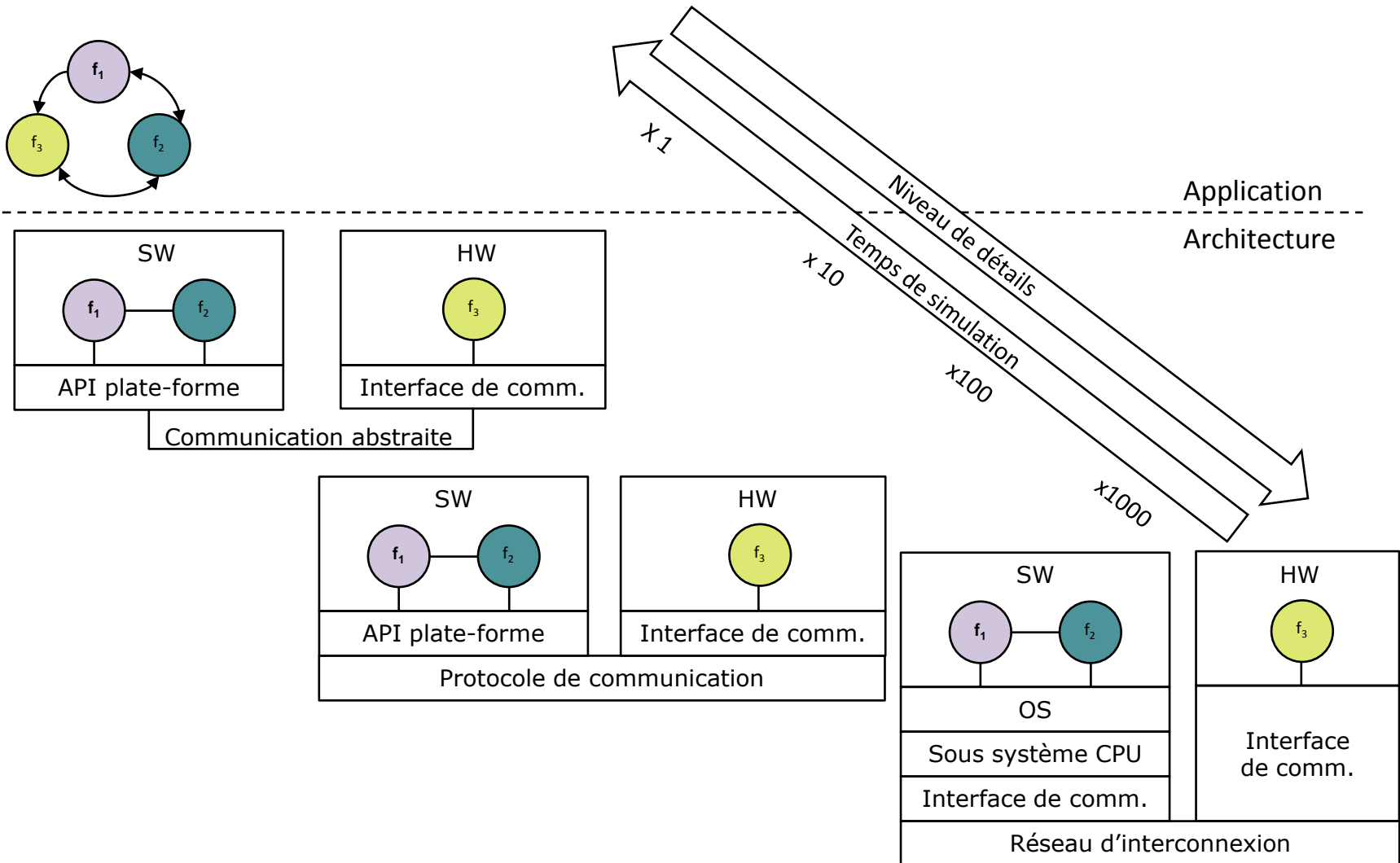
- ❑ Description partielle du système pour analyser un aspect du problème
 - Besoin d'une sémantique claire et précise
 - Capture des propriétés d'une architecture

- ❑ Modèles proposés pour la description et l'analyse d'architectures
 - Profil UML: MARTE
 - Modèles MCSE
 - SynDEx, Ptolemy, Artemis, Metropolis

- ❑ Langages pour la capture et la simulation des modèles
 - SystemC, SystemVerilog, SpecC

Niveaux d'abstraction pour la modélisation de systèmes embarqués

- Compromis niveau de détails/temps de simulation



Positionnement de nos contributions

- ❑ **Approche** visant à guider le concepteur dans le processus de création de modèles de niveau transactionnel pour le dimensionnement des futurs systèmes de radiocommunication mobiles
 - Ensemble d'étapes pour guider le concepteur

- ❑ **Modèle** d'exécution générique pour le dimensionnement de systèmes
 - Motif de base pour la création de modèles plus complexes

- ❑ **Technique d'abstraction** pour la réduction des temps de simulation des modèles
 - Utilisation de l'approche de modélisation transactionnelle basée sur SystemC

- ❑ **Technique de modélisation** des systèmes de radiocommunication mobiles
 - Instances de modèles pour l'étude et le dimensionnement de systèmes

Plan

1. Dimensionnement des futurs systèmes de radiocommunication mobiles: évolutions et challenges
2. Contributions pour la définition de techniques de modélisation en vue du dimensionnement de systèmes
 - Approche de modélisation pour guider le concepteur
 - Technique d'abstraction visant à réduire les temps de simulation des modèles
 - Modèle d'exécution générique pour faciliter le processus de création de modèles
3. Études de cas sur des exemples de systèmes de radiocommunication mobiles
4. Conclusion et perspectives

Cas d'étude pour illustrer l'approche proposée

- ❑ Cas d'étude simple : Démodulateur OFDM
 - Standards de communication : LTE, WiFi, WiMAX
- ❑ Principe
 - Démodulation multiporteuse
 - Réception de N symboles à valeurs complexes transmis sur N sous-porteuses
- ❑ Traitement à réaliser
 - Algorithme de Transformée de Fourier rapide (FFT)
- ❑ Objectif: Permettre l'évaluation des ressources de calculs requises compte tenu des contraintes de temps et des architectures considérées
 - Prise en compte des contraintes de temps à respecter vis-à-vis de l'application considérée
 - Expression de l'utilisation faite des ressources de calcul en tenant compte des propriétés de l'architecture évaluée

Propriétés à modéliser

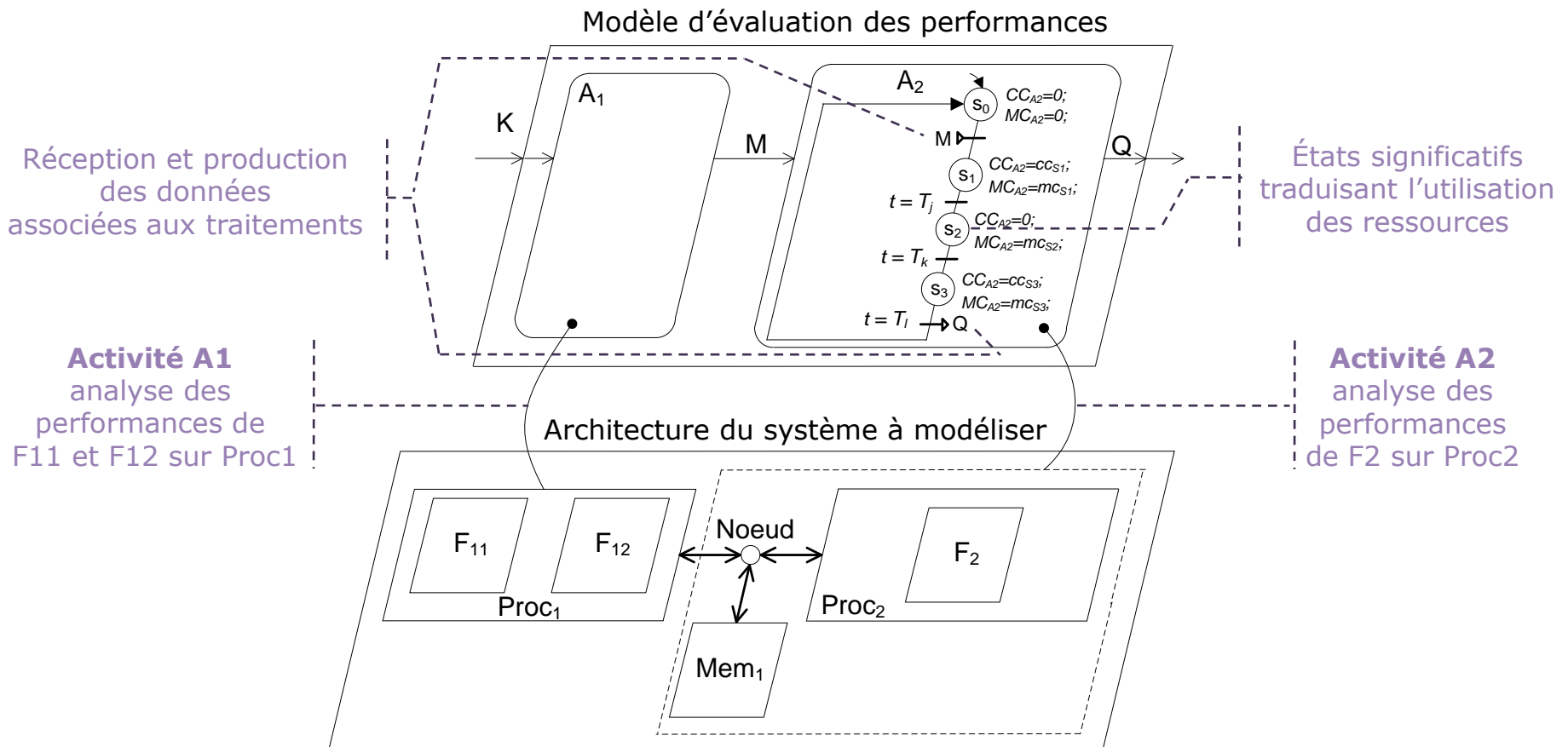
- ❑ Modélisation du système à dimensionner
 - Expression des instants significatifs d'évolution en entrée et en sortie
 - Prise en compte des caractéristiques des différentes catégories d'architectures pouvant être considérées
 - Monoprocasseur, multiprocasseur, ressources matérielles spécifiques
 - Pipeline, non pipeline
 - Expression de l'utilisation des ressources au cours du temps



Approche de modélisation considérée

□ Description des propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles d'un système **au sein d'une même vue**

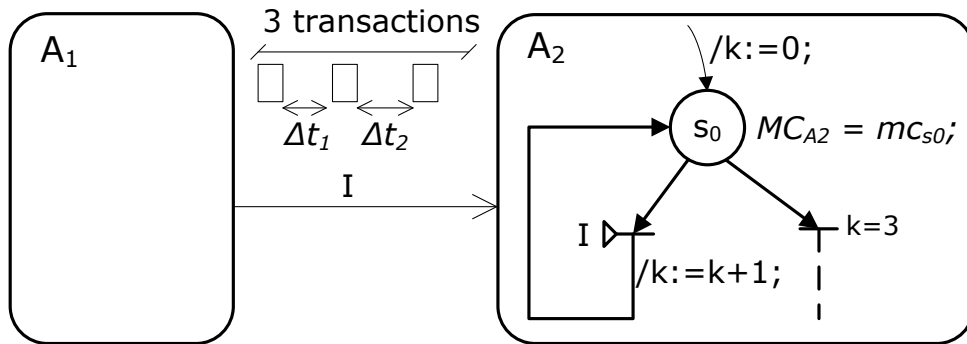
- Modèle de représentation d'une architecture



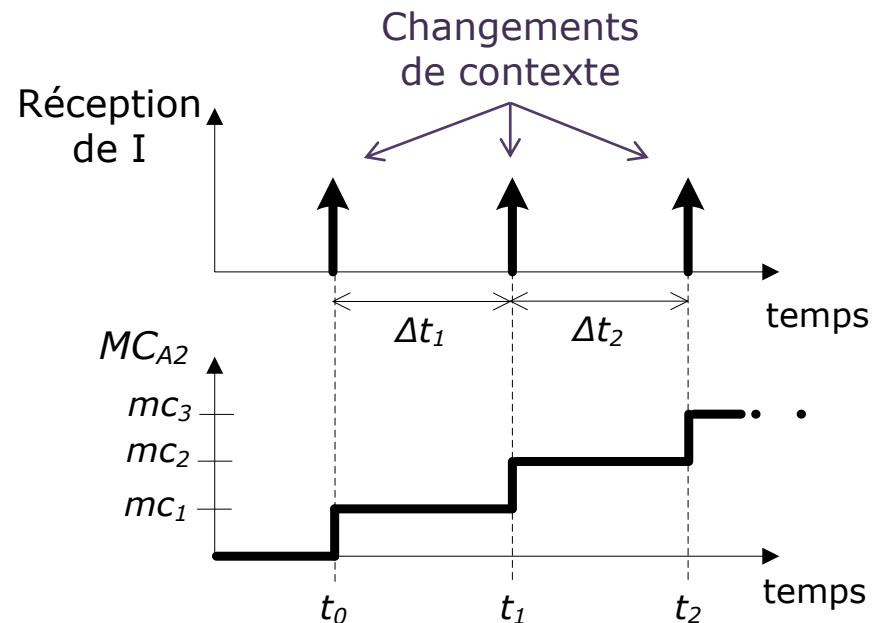
Temps de simulation des modèles de niveau transactionnel

- Technique de modélisation transactionnelle basée sur SystemC
 - Temps de simulation d'un modèle dépend du nombre de changements de contexte effectués
 - Changement de contexte intervient dès lors qu'une transaction est initiée entre deux modules SystemC

Modèle de l'architecture



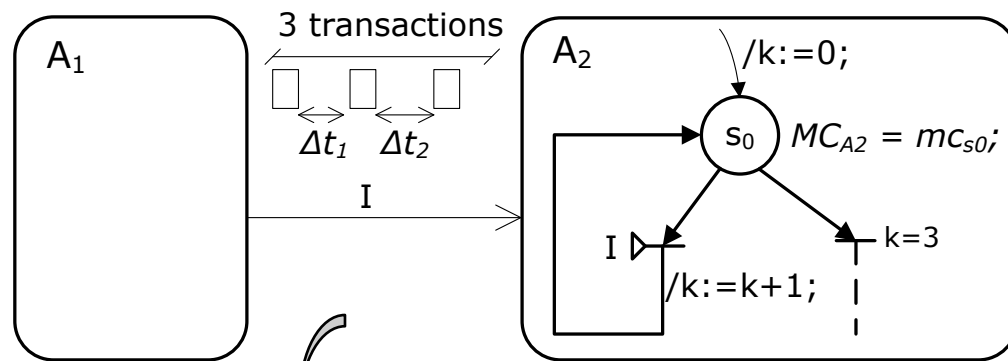
Résultats observés



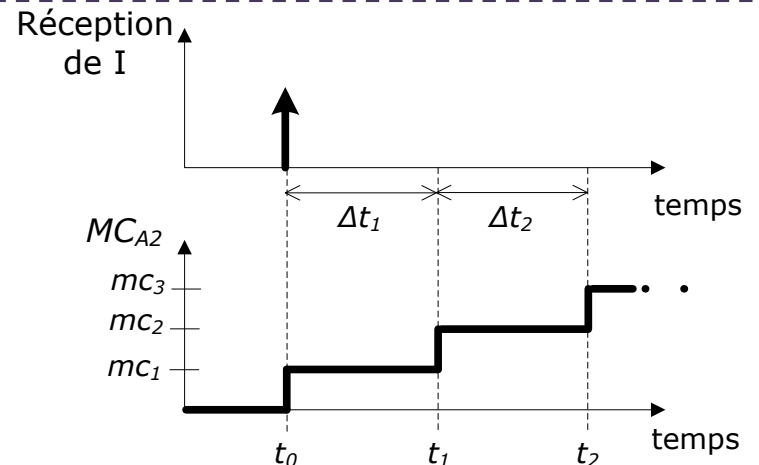
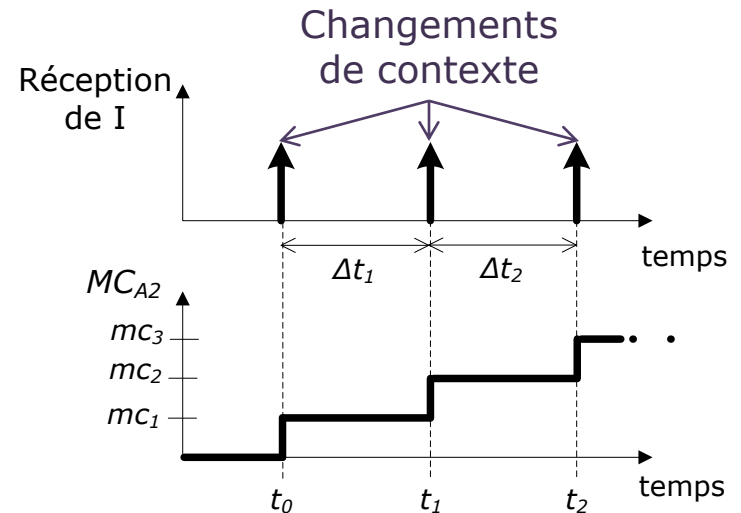
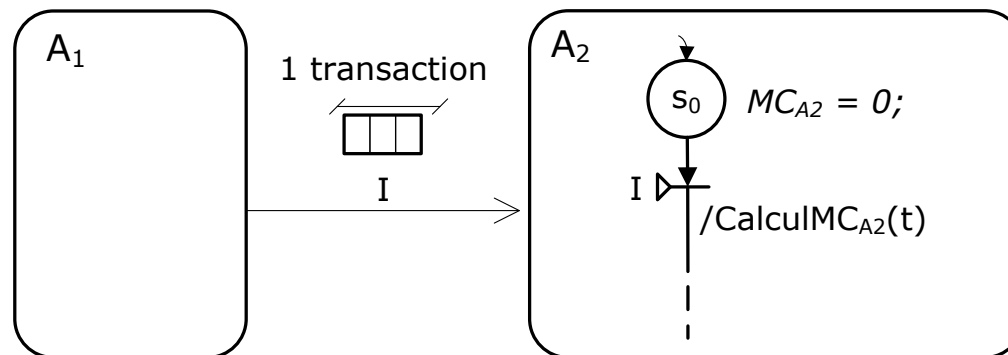
⇒ Limiter le nombre de transactions initiées lors de la simulation

Technique d'abstraction

- Diminution des temps de simulation requis en limitant le nombre de transactions nécessaires au sein d'un modèle
 - Calcul local de l'évolution des propriétés observées et des conditions temporelles



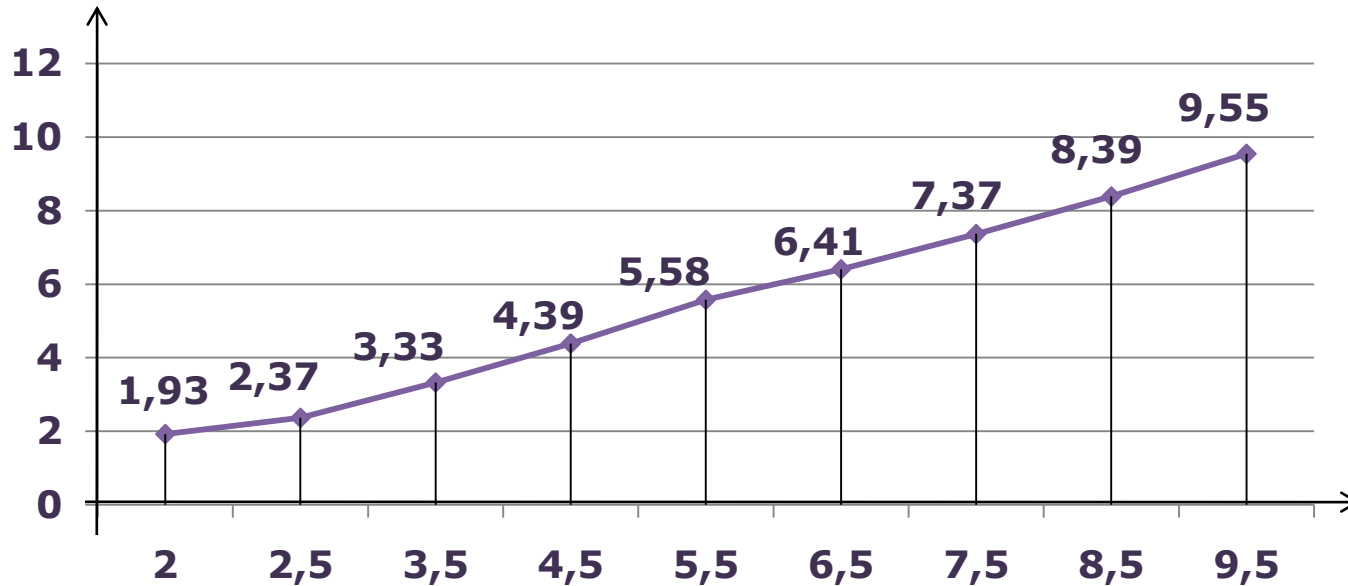
Abstraction



Gain en temps de simulation

- Observation de l'influence de la technique de calcul sur les temps de simulation

Facteur de réduction
du temps de simulation



Facteur de réduction
du nombre
de changements
de contexte

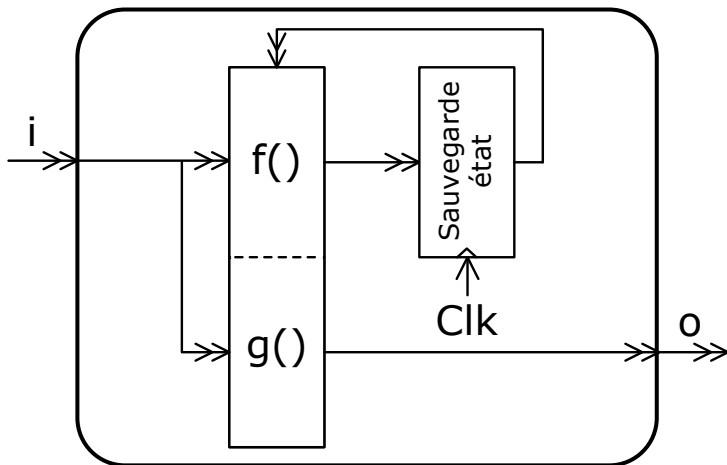
- ⇒ **Facteur de réduction du temps de simulation quasiment proportionnel au facteur de réduction du nombre de changements de contexte au sein d'un modèle**

Propositions pour faciliter le processus de création de modèles de niveau transactionnel

- Extension du principe de machine séquentielle au niveau transactionnel pour l'évaluation des performances
 - Comportement guidé par les transactions et les instants d'évolution
 - Instants d'évolution calculés localement selon le principe d'abstraction
 - Observation des propriétés d'une architecture en temps nul vis-à-vis du simulateur

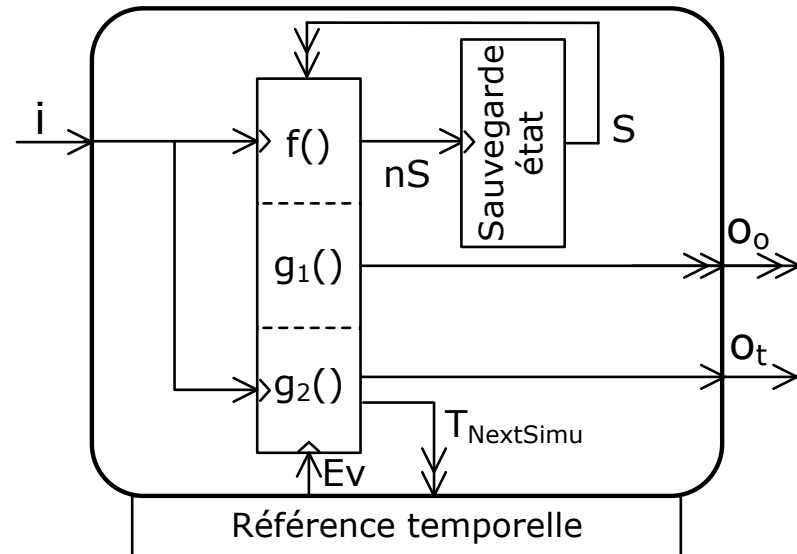
Machine séquentielle

Évolution selon clk



Machine transactionnelle

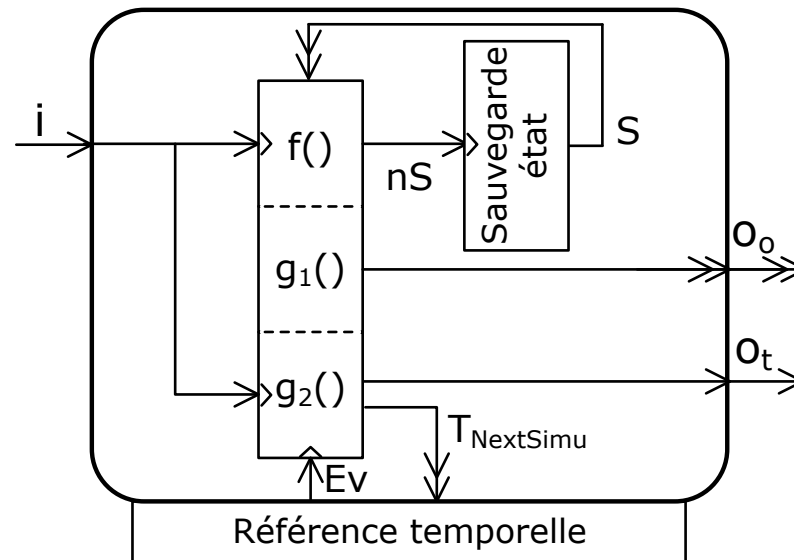
Évolution guidée par transactions et instants d'évolution



Propositions pour faciliter le processus de création de modèles de niveau transactionnel

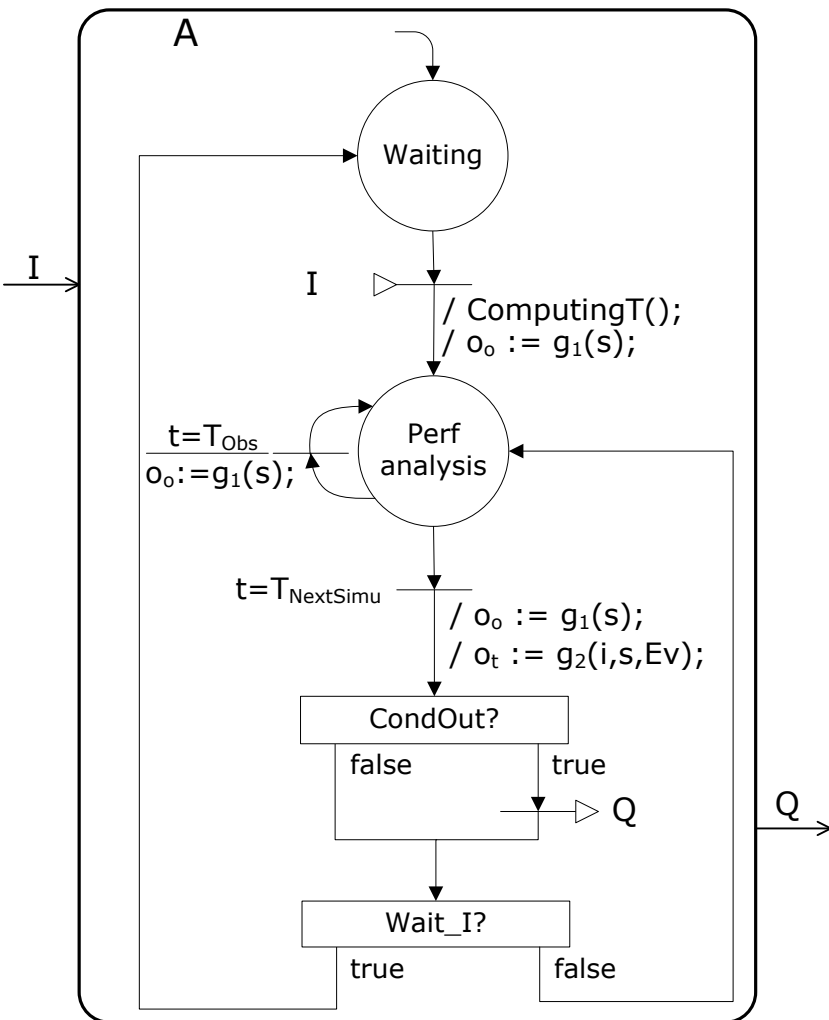
- Description du fonctionnement de la machine transactionnelle à partir d'une table de transition

État présent	État futur		Action	
	condition	état	condition	action
S	i	nS		O_o
	$t = T_{\text{NextSimu}}$			O_t

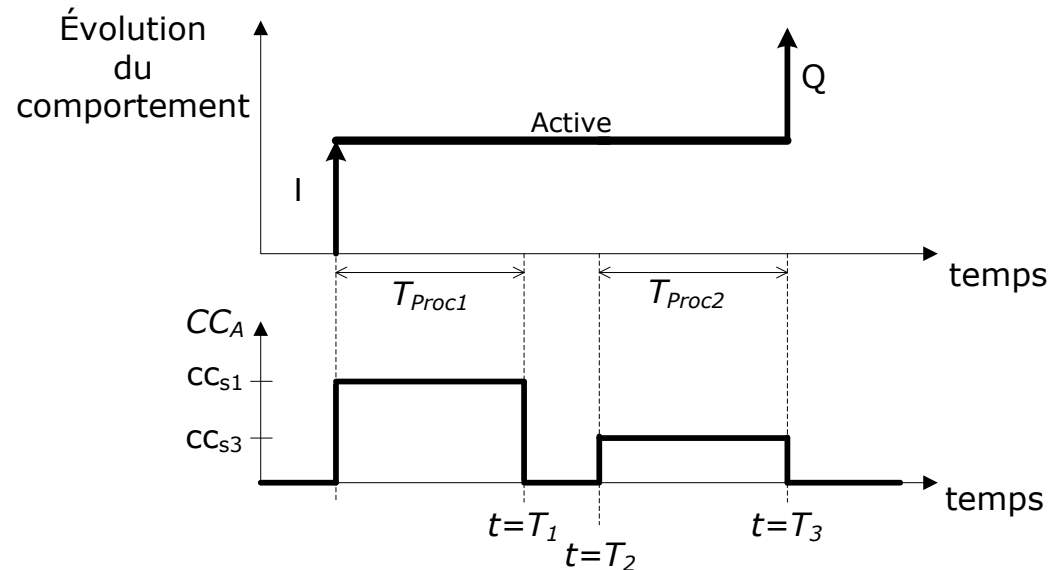


Propositions pour faciliter le processus de création de modèles de niveau transactionnel

□ Définition d'un modèle d'exécution générique



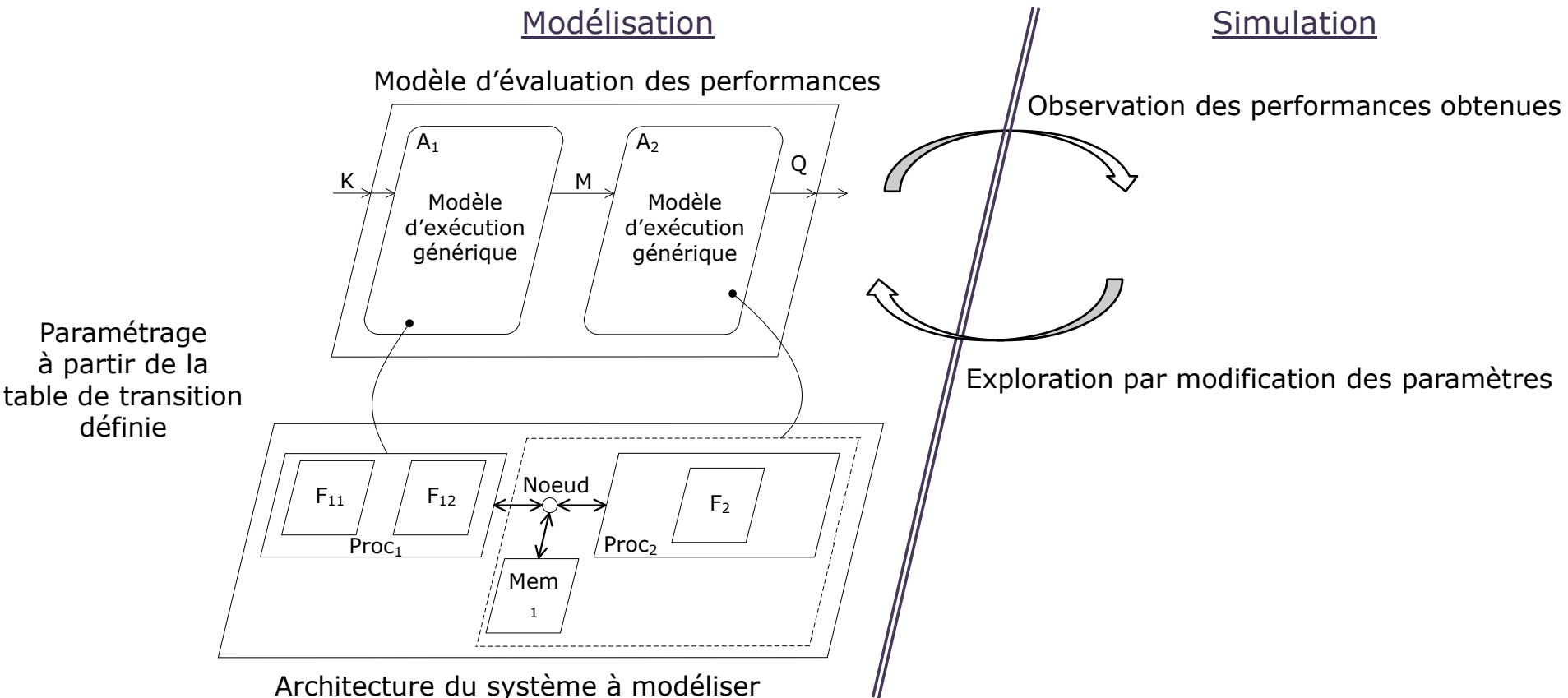
État présent	État futur		Action	
	condition	état	condition	action
S_0	I	S_1	-	$CC_A = CC_{S1};$
S_1	$t = T_1$	S_2	-	$CC_A = 0;$
S_2	$t = T_2$	S_3	-	$CC_A = CC_{S3};$
S_3	$t = T_3$	S_0	-	$CC_A = 0;$ Q



Propositions pour faciliter le processus de création de modèles de niveau transactionnel

□ Démarche proposée

- Description sous la forme d'une table de transition du comportement associé à chaque activité considérée
- Paramétrage du modèle d'exécution générique



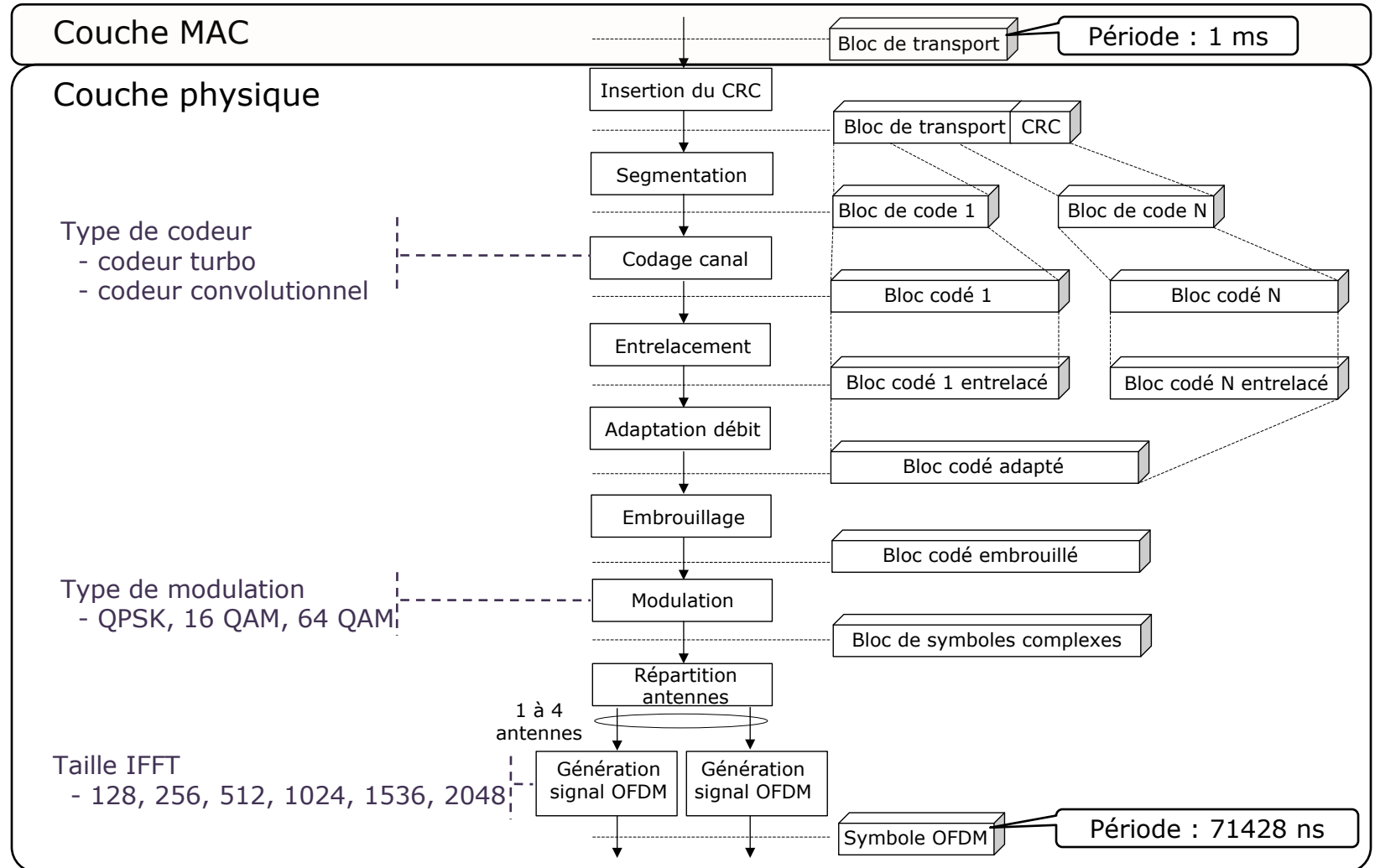
Plan

1. Dimensionnement des futurs systèmes de radiocommunication mobiles: évolutions et challenges
2. Contributions pour la définition de techniques de modélisation en vue du dimensionnement de systèmes
3. Études de cas sur des exemples de systèmes de radiocommunication mobiles
 - Dimensionnement de l'architecture d'un récepteur LTE
 - Dimensionnement d'un terminal adaptatif multiservice
4. Conclusion et perspectives

Dimensionnement de l'architecture d'un récepteur LTE

□ Présentation du standard de communication LTE

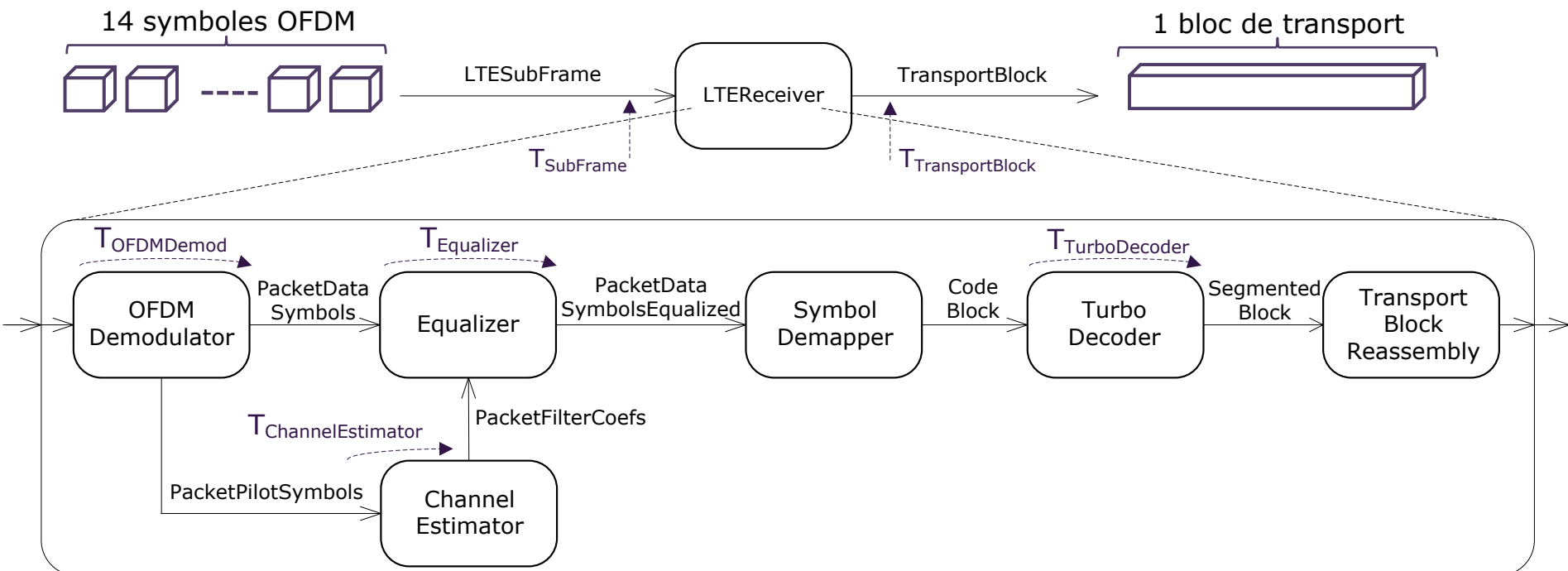
- Traitements au niveau de la couche physique d'une station émettrice LTE



Dimensionnement de l'architecture d'un récepteur LTE

Objectifs

- Analyse en tenant compte des différentes configurations de trames radio possibles
- Analyse des ressources de calcul et de mémorisation requises
- Exploration selon différentes distributions possibles
- Modélisation sur la base du modèle d'exécution générique



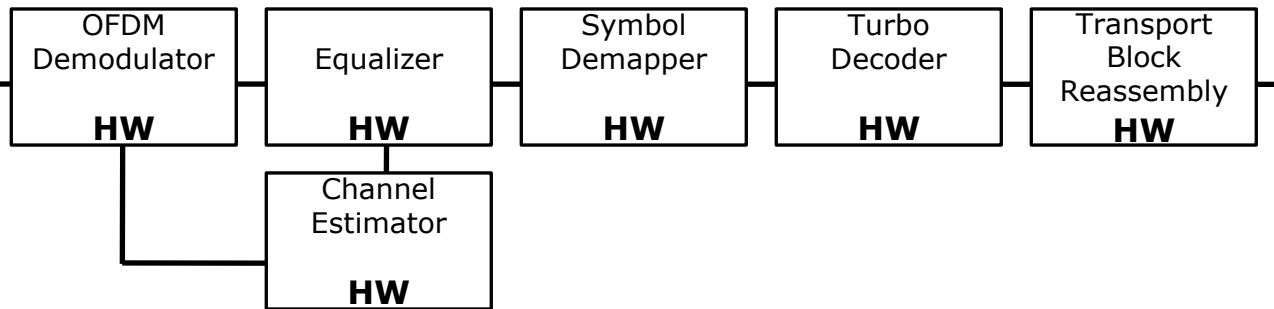
Dimensionnement de l'architecture d'un récepteur LTE

□ Démarche

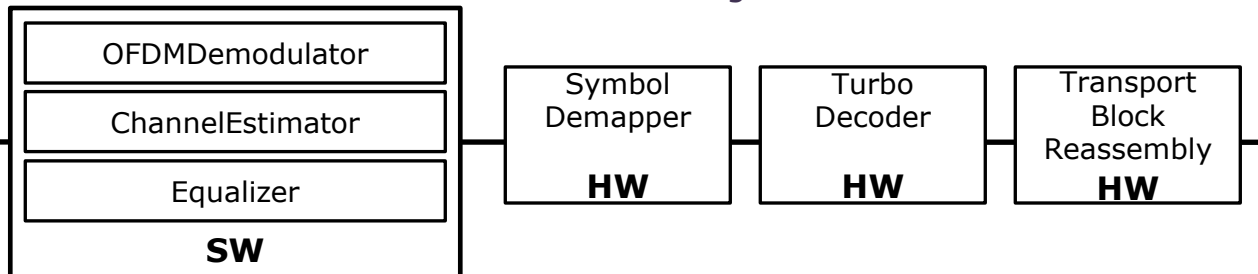
- Description sous la forme d'une table de transition du comportement associé à chaque activité considérée
- Paramétrage du modèle d'exécution générique
- Capture du modèle avec l'outil CoFluent Studio
- Observation et comparaison des performances obtenues

□ Espace de conception exploré

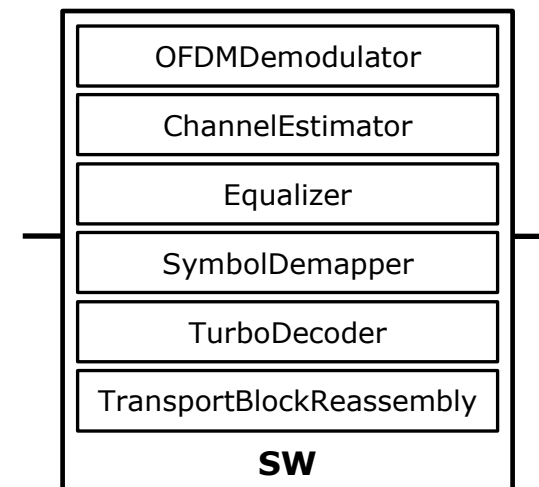
Architecture basée sur des ressources matérielles spécifiques



Architecture hétérogène



Architecture basée sur un processeur logiciel unique



Évaluation des performances

❑ Configurations de sous-trames radio LTE évaluées

- Trois configurations évaluées

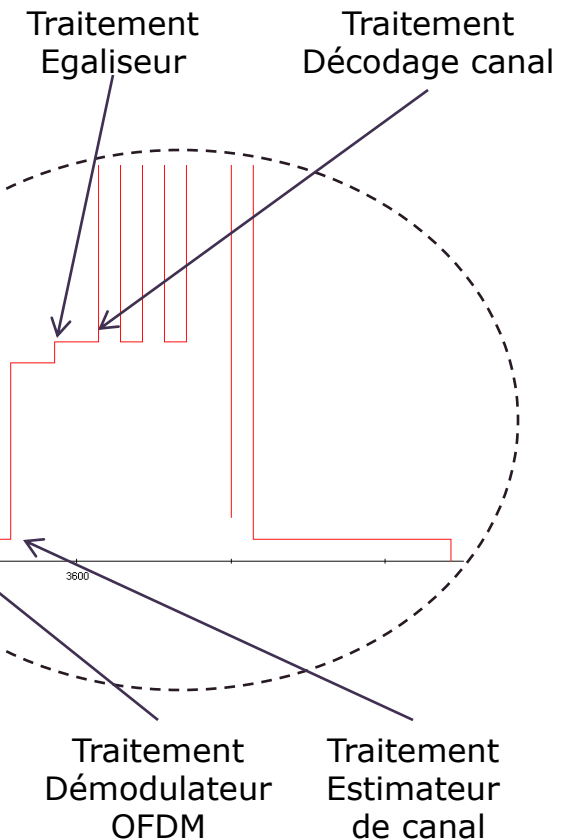
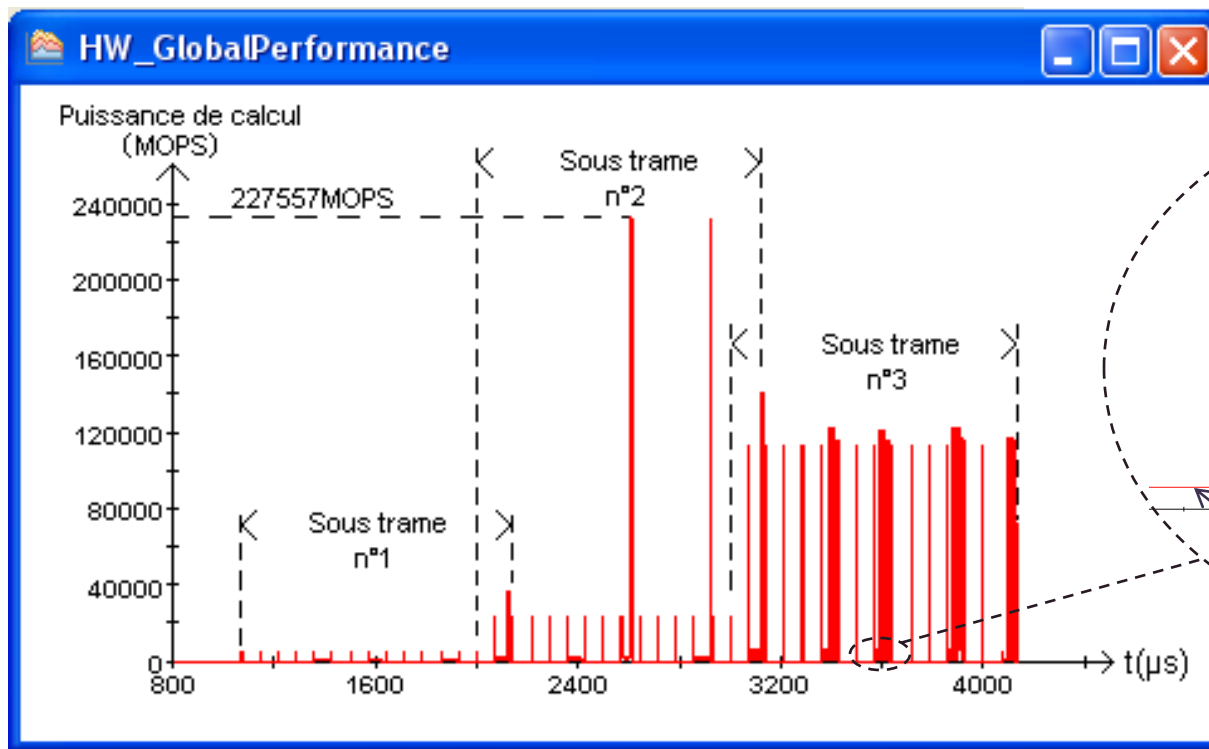
N° de la sous-trame LTE	Délai d'envoi (ms)	Nb de blocs de ressources	Taille FFT	Type de démodulation	Nb itérations du turbo décodeur
1	1	12	128	QPSK	1
2	1	50	512	16QAM	2
3	1	200	2048	64QAM	1

❑ Informations sur le modèle obtenu

- 3842 lignes de code SystemC dont 22% sont insérées automatiquement
- Temps de simulation de 140 ms
 - Poste de travail équipé d'un processeur Intel Core 2 duo
 - Fréquence d'horloge de 2,66 GHz

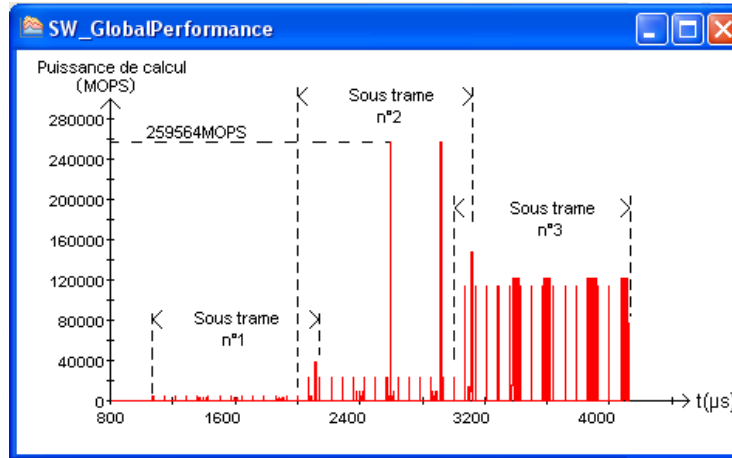
Exemple de résultat de simulation obtenu

- Évolution en fonction du temps de la puissance de calcul requise compte tenu de la configuration de sous-trames radio LTE considérée
 - Observation faite avec l'architecture basée sur des ressources matérielles spécifiques

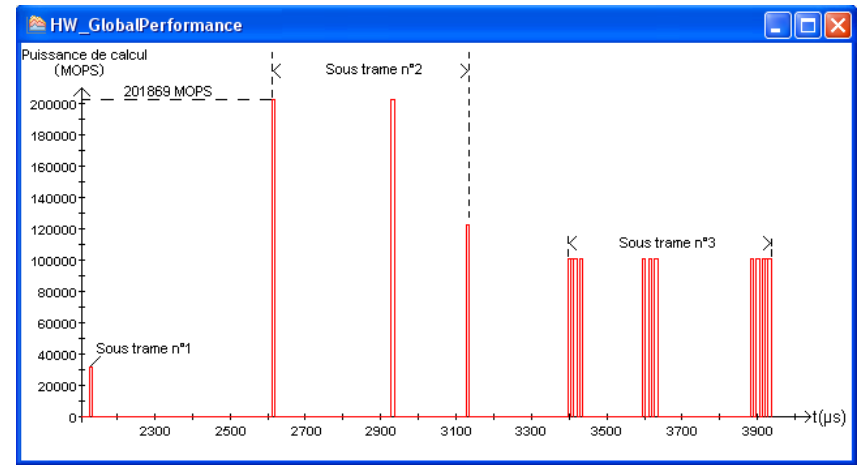
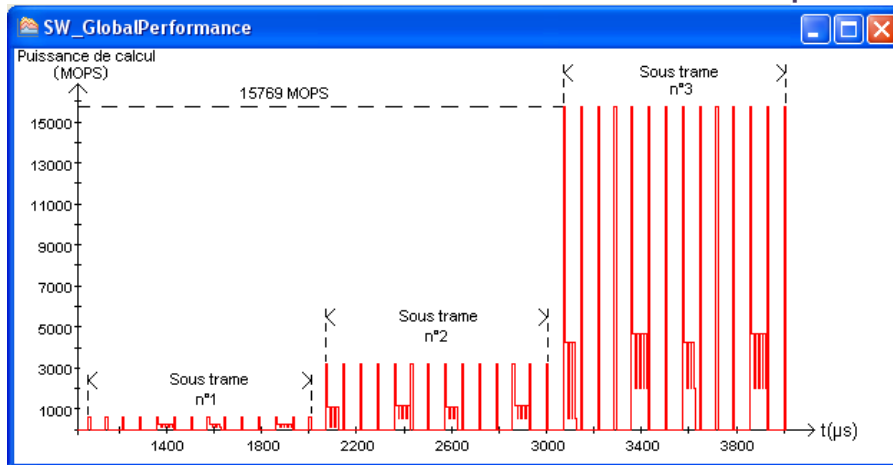


Comparaison des résultats obtenus

- ❑ Comparaison de deux configurations d'architectures
 - Architecture basée sur l'utilisation d'un processeur logiciel unique



- Architecture hétérogène basée sur l'utilisation d'un processeur logiciel et de ressources matérielles spécifiques

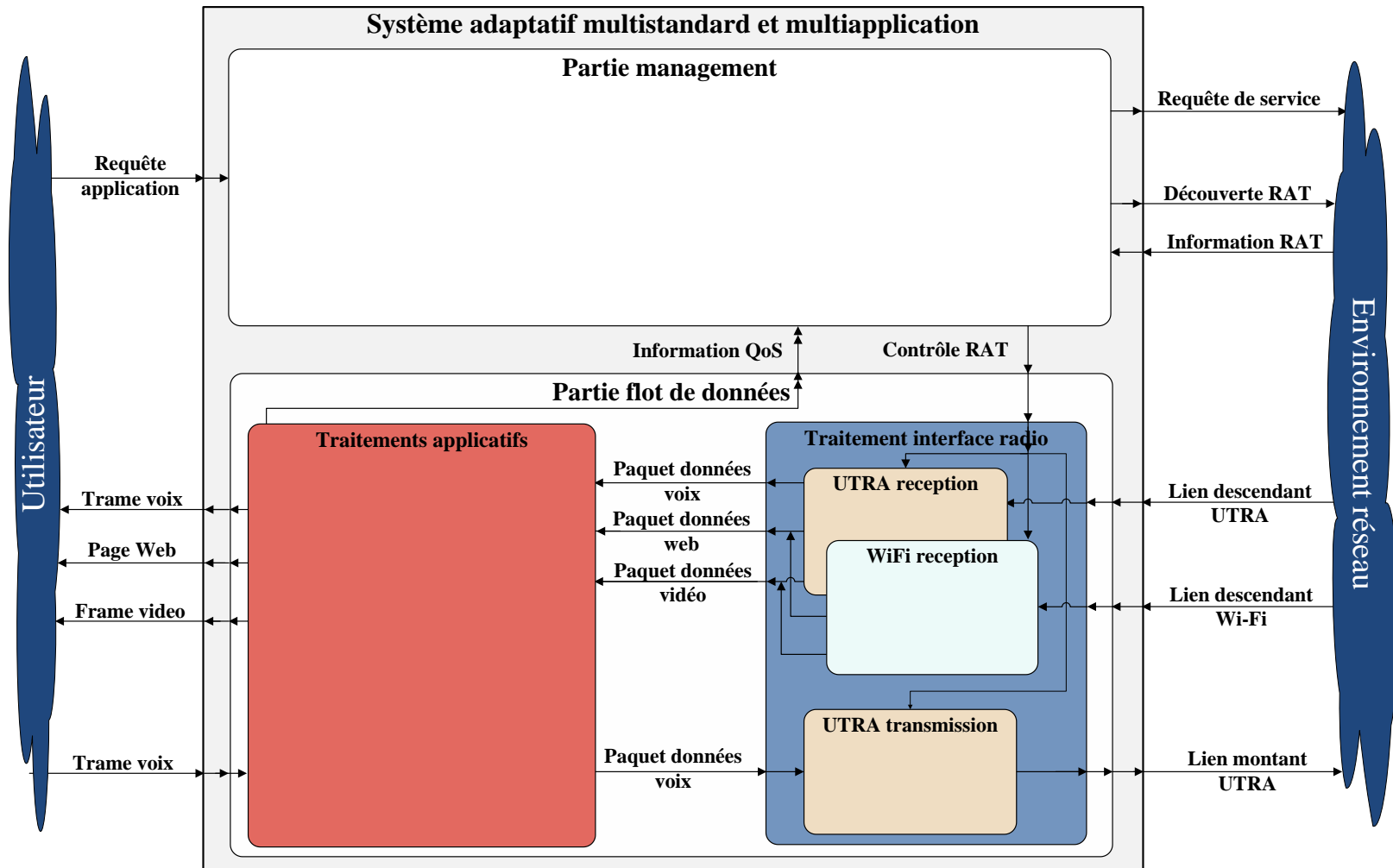


Dimensionnement d'un terminal adaptatif multiservice

- ❑ Analyse des ressources de calcul et de mémorisation requises pour la mise en œuvre des traitements au niveau de la couche physique d'un système multistandard
- ❑ Problématique
 - Prise en compte des nouvelles capacités d'adaptation dynamique des interfaces de communication par le système
- ❑ Démarche
 - Définition d'une description exécutable du système à dimensionner
 - Modélisation de la gestion dynamique des interfaces de communication sous contraintes de qualité de service
 - Prise en compte des différents scénarios de fonctionnement envisageables
 - Observation de l'évolution de l'activation des interfaces de communication selon les scénarios de fonctionnement
 - Utilisation de cette description exécutable pour dimensionner les ressources de calcul nécessaires pour l'implantation des standards de communication

Dimensionnement d'un terminal adaptatif multiservice

□ Présentation du cas d'étude

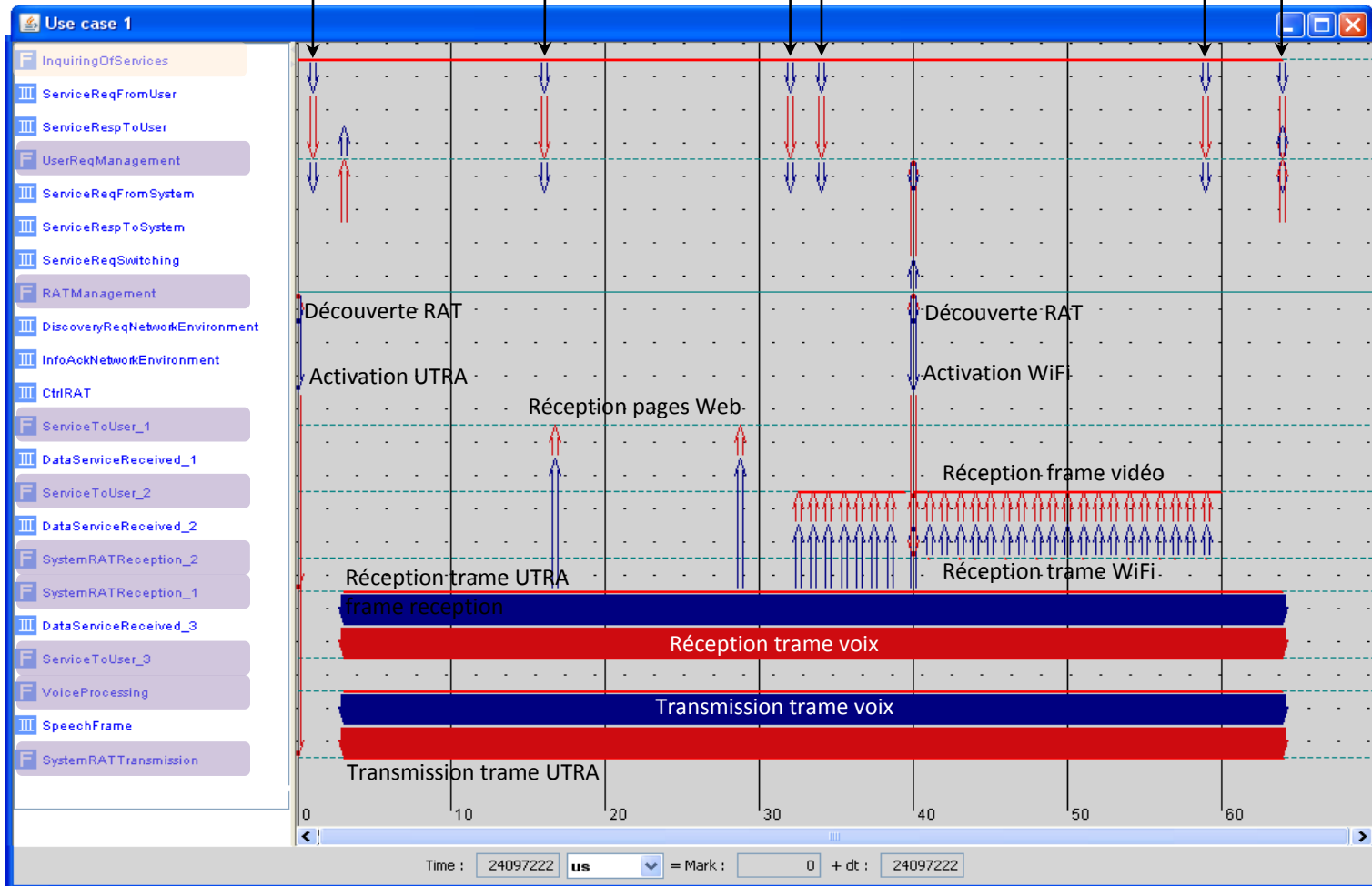


Observation du comportement du système

□ Activation des interfaces de communication

Utilisateur
Système

scenarioUser.dat	
1	1 s VoiceCall Start
2	15 s WebSession Start
3	16 s VideoStreaming Start
4	2 s WebSession Stop
5	25 s VideoStreaming Stop
6	5 s VoiceCall Stop

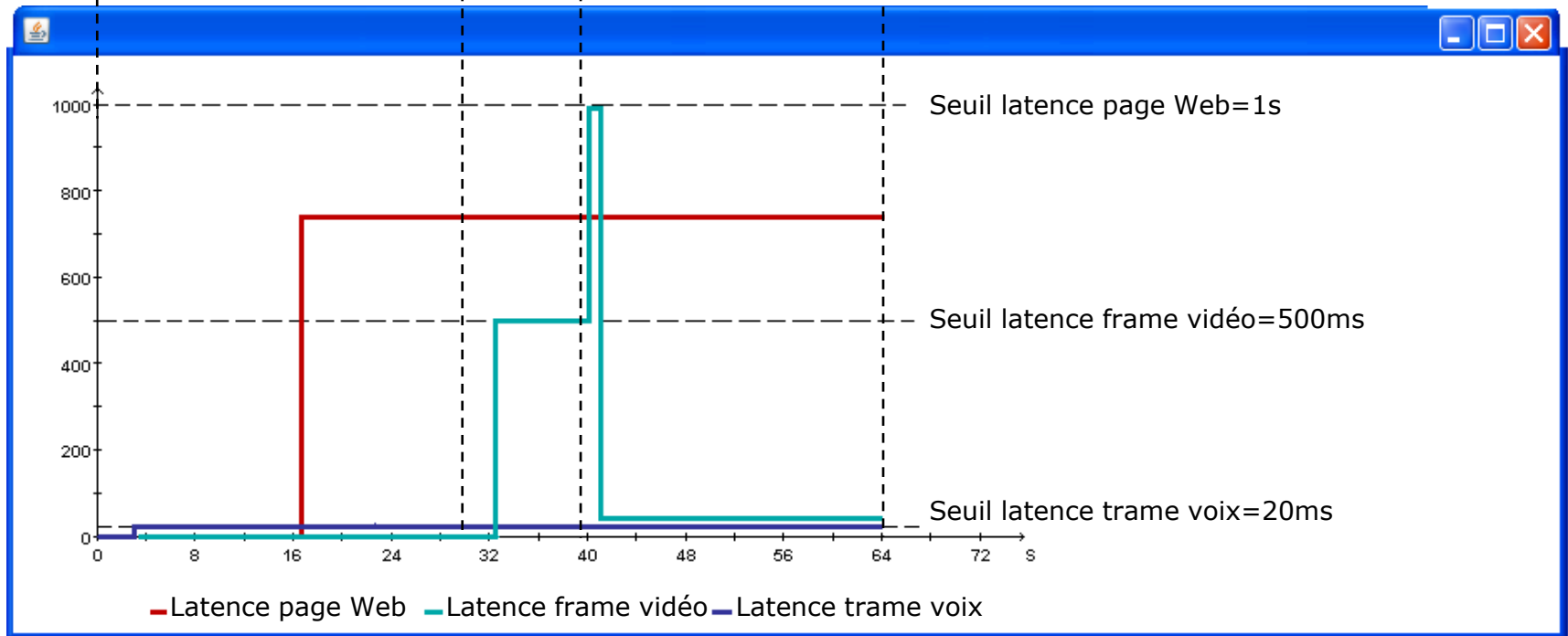
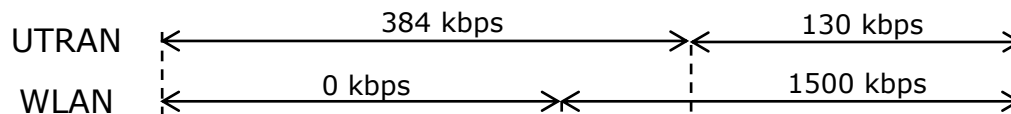


Observation du comportement du système

Observation du maintien du niveau de QoS par le système

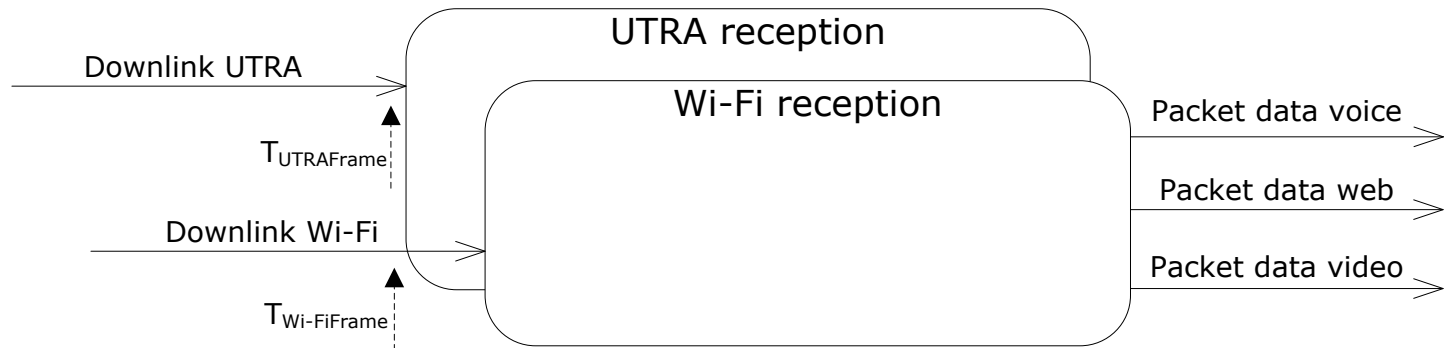
scenarioNetwork.dat		
1	1 ms	UTRAN 384
2	30 s	WLAN 1500
3	9 s	UTRAN 130

scenarioUser.dat		
1	1 s	VoiceCall Start
2	15 s	WebSession Start
3	16 s	VideoStreaming Start
4	2 s	WebSession Stop
5	25 s	VideoStreaming Stop
6	5 s	VoiceCall Stop

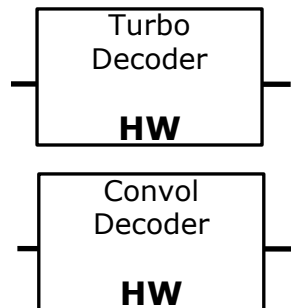


Dimensionnement d'un terminal adaptatif multiservice

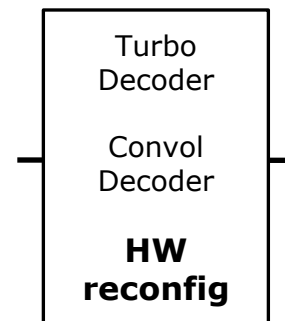
- ❑ Prise en compte des caractéristiques des ressources utilisées pour exécuter les traitements associés aux interfaces de communication
- ❑ Fonction de traitement analysée: décodage canal
- ❑ Architectures considérées



Architecture basée sur
des ressources matérielles spécifiques

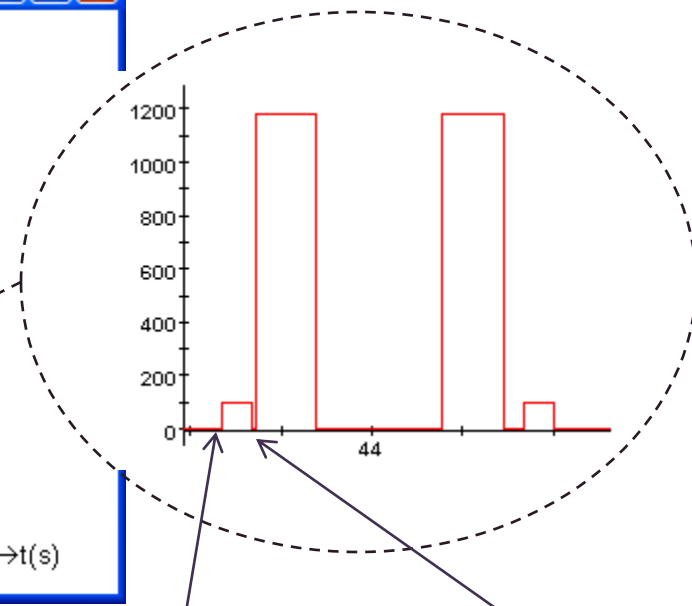
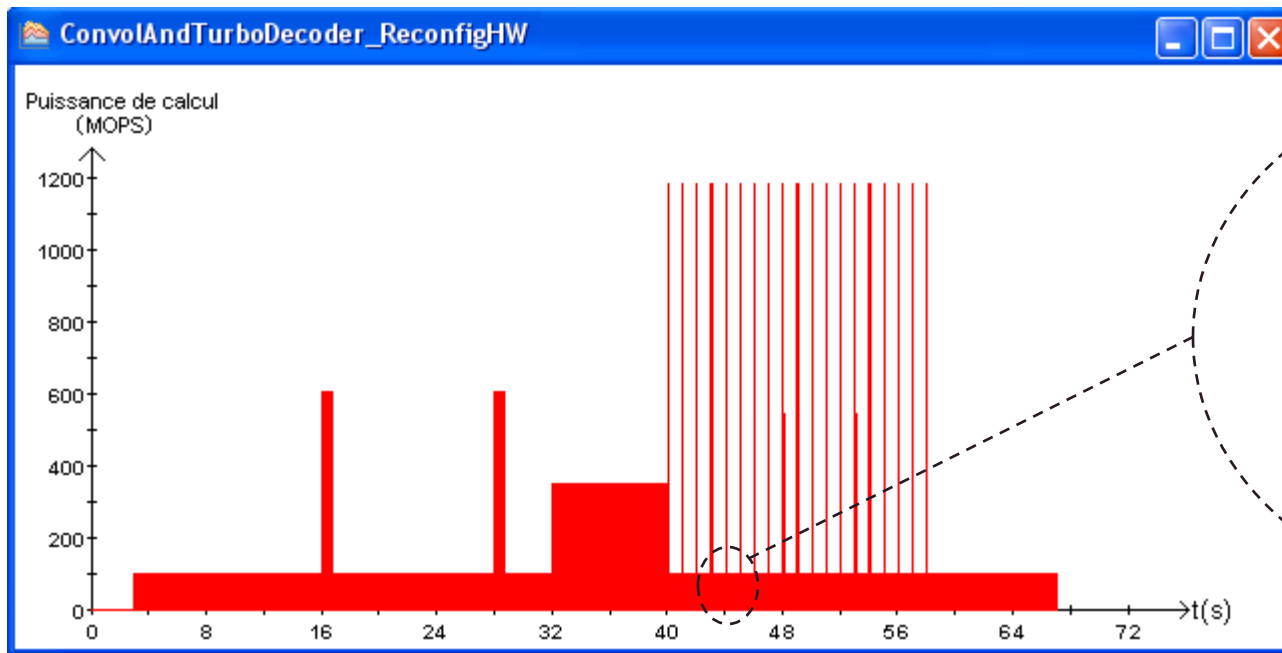


Architecture basée sur
une ressource matérielle reconfigurable



Exemple de résultat de simulation obtenu

- Évolution en fonction du temps de la puissance de calcul requise compte tenu de la configuration de sous-trames radio LTE considérée
 - Observation faite avec l'architecture basée sur une ressource matérielle reconfigurable dynamiquement



Instant arrivée
trame UTRA

Instant arrivée
trame WiFi

Plan

1. Dimensionnement des futurs systèmes de radiocommunication mobiles: évolutions et challenges
2. Contributions pour la définition de techniques de modélisation en vue du dimensionnement de systèmes
3. Études de cas sur des exemples de systèmes de radiocommunication mobiles
4. Conclusion et perspectives

Conclusion

❑ Bilan des propositions

- Approche pour l'abstraction des propriétés non fonctionnelles au sein de modèles transactionnels
 - Réduction significative du nombre de transactions nécessaires
 - Accélération des temps de simulation
 - Évaluation rapide et efficace des ressources de calculs, de communication et de mémorisation requises
- Techniques de modélisation transactionnelle
 - Permettre la représentation de systèmes adaptatifs multiservices
 - Rendre possible une analyse efficace des performances temporelles selon différents scénarios de fonctionnement

❑ Intérêts des propositions

- Amélioration du processus de création des modèles
- Amélioration du temps de simulation des modèles

Perspectives

❑ Approche

- Prise en compte de propriétés supplémentaires telles que la consommation des ressources
- Prise en compte des nœuds de communication entre ressources

❑ Technique

- Optimisation des temps de simulation des modèles en minimisant les couplages entre activités

❑ Outil

- Automatisation de la création des modèles sur la base du modèle d'exécution générique

⇒ **Ouverture vers une approche cohérente et optimisée, assistée par un outil, visant à maîtriser la complexité de conception des systèmes embarqués communicants**

Publications

❑ Conférences internationales avec actes et comité de lecture

- Anthony Barreteau, Sébastien Le Nours, Olivier Pasquier, Jean Paul Calvez, "Transaction Level Modeling of an adaptive multi-standard and multi-application radio communication system", *Forum of specification and Design Languages (FDL'09)*, Sophia Antipolis, France, 22-24 Septembre 2009.
- Anthony Barreteau, Sébastien Le Nours, Olivier Pasquier, Jean Paul Calvez, "Executable models for performance assessments of adaptive mobile systems", *Software Defined Radio Forum Technical Conference (SDR'09)*, Washington, USA, 1-4 Decembre 2009.
- Sébastien Le Nours, Anthony Barreteau, Olivier Pasquier, "Modeling technique for simulation time speed-up of performance computation in transaction level models", *Forum of specification and Design Languages (FDL'10)*, Southampton, Angleterre, 14-16 Septembre 2010.

❑ Colloques nationaux

- Anthony Barreteau, Sébastien Le Nours, Olivier Pasquier, Jean Paul Calvez, "Démarche pour la création de modèles transactionnels pour l'évaluation de performances", *3^{ème} colloque national du GDR SoC-SiP*, Orsay, France, 10-12 juin 2009.
- Anthony Barreteau, Sébastien Le Nours, Jean François Diouris, "Abstraction des propriétés non fonctionnelles au sein des modèles transactionnels", *Ecole d'hiver Francophone sur les Technologies de Conception des systèmes embarqués Hétérogènes (FETCH'10)*, Chamonix, France, 11-13 janvier 2010.
- Anthony Barreteau, Sébastien Le Nours, Olivier Pasquier, Jean François Diouris, "Techniques de modélisation transactionnelle pour le dimensionnement des systèmes embarqués communicants", *4^{ème} colloque national du GDR SoC-SiP*, Cergy-Pontoise, France, 9-11 juin 2010.

Techniques de modélisation transactionnelle pour le dimensionnement des futurs systèmes de radiocommunication mobiles

Merci de votre attention

